

Analisis Rugi-Rugi (*Losses*) Transformator Daya 150/20 KV di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami ULTG Tarahan

Hendri Elnizar¹, Herri Gusmedi², Osea Zebua³

Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, Bandar Lampung

Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung 35145

hendrielnizarr@gmail.com¹

herri.gusmedi@eng.unila.ac.id²

osea.zebua@eng.unila.ac.id³

Intisari — Pada umumnya, dalam penyaluran energi listrik, akan selalu terdapat rugi-rugi (*losses*). Pada transformator terdapat dua jenis rugi-rugi yaitu rugi-rugi teknis dan rugi-rugi non-teknis. Rugi-rugi non-teknis disebabkan oleh hal-hal diluar kinerja sistem, seperti kecelakaan, bencana alam, kelalaian manusia, dan sebagainya. Sedangkan rugi-rugi teknis disebabkan oleh dua hal, yaitu rugi-rugi tembaga (*copper losses*) dan rugi-rugi inti besi (*core losses*). Rugi-rugi teknis pada trafo menyebabkan efisiensi penyedia tenaga listrik menjadi rendah. Oleh karena itu penulis akan membuat skripsi yang berjudul “Analisis Rugi-rugi (*Losses*) Transformator Daya 150/20 KV di PT.PLN (PERSERO) Gardu Induk Sutami ULTG Tarahan” Analisis dilakukan pada bulan Juli 2019, yang bertujuan untuk mengetahui besarnya rugi-rugi pada transformator setiap hari dalam waktu satu bulan, serta menghitung persentase kenaikan *losses* terhadap perubahan arus beban normal ke arus beban puncak. Hasil perhitungan menunjukkan *Losses* tertinggi pada Trafo 1 jatuh pada tanggal 23 Juli 2019, sebesar 4.588.204 kw. *Losses* tertinggi pada Trafo 2 jatuh pada tanggal 11 Juli 2019, sebesar 16.246.884 kw. Kemudian besar perubahan kenaikan arus dari arus beban normal ke arus beban puncak pada Trafo 1, akan menyebabkan *losses* naik sebesar 3,66%, dan besar perubahan kenaikan arus dari arus beban normal ke arus beban puncak pada Trafo 2, akan menyebabkan *losses* naik sebesar 2,38%.

Kata Kunci: Transformator, *losses*, *copper losses*, *core losses*

Abstract — In general, in the distribution of electrical energy, there will always be losses. In a transformer, there are two types of losses, namely technical losses and non-technical losses. Non-technical losses are caused by things outside of system performance, such as accidents, natural disasters, human negligence, and so on. Meanwhile, technical losses are caused by two things, namely copper losses and core losses. Technical losses in the transformer cause the efficiency of the electricity supply to be low. Therefore the author will make a thesis entitled "Analysis of Losses Power Transformer 150/20 KV in PT PLN (PERSERO) Substation Sutami ULTG Tarahan" The analysis was carried out in July 2019, which aims to determine the amount of losses - losses on the transformer every day within a month, as well as calculating the percentage increase in losses due to changes in normal load current to peak load current. The calculation results show that the highest Losses on Transformer 1 falls on July 23, 2019, amounting to 4,588,204 kw. The highest loss on Transformer 2 falls on July 11, 2019, amounting to 16,246,884 kw. Then the magnitude of the change in the increase in current from normal load current to peak load current on Transformer 1, will cause losses to increase by 3.66%, and the amount of change in the increase in current from normal load current to peak load current on Transformer 2, will cause losses to increase by 2,38%.

Keywords: Transformer, *losses*, *copper losses*, *core losses*

I. PENDAHULUAN

Analisis aliran daya merupakan salah satu studi dalam melakukan perhitungan susut daya pada sistem tenaga listrik. Analisa aliran daya sangat penting dilakukan, terutama dalam menyelidiki permasalahan pada sistem operasi dan perencanaan sistem tenaga listrik. Berdasarkan nilai dari suatu generator dan struktur transmisi jaringan listrik, maka dapat menentukan nilai tegangan, arus, dan aliran daya pada setiap titik percabangan pada jaringan listrik dengan melakukan perhitungan analisa aliran daya [1].

Pada zaman dengan teknologi yang semakin pesat dan pertambahan populasi penduduk, maka kebutuhan listrik akan semakin meningkat, sehingga dibutuhkan pemasangan jaringan listrik yang semakin meluas dan permintaan daya listrik yang semakin besar. Dalam hal ini, analisa aliran daya merupakan salah satu solusi utama dalam menentukan perencanaan sistem tenaga listrik kedepan.

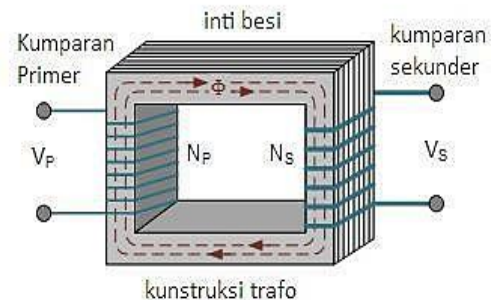
Pada umumnya, dalam penyaluran energi listrik, akan selalu terdapat rugi-rugi (*losses*). Pada transformator terdapat dua jenis rugi-rugi yaitu rugi-rugi teknis dan rugi-rugi non-teknis. Rugi-rugi non-teknis disebabkan oleh hal-hal diluar kinerja sistem, seperti kecelakaan, bencana alam, kelalaian manusia, dan sebagainya. Sedangkan rugi-rugi teknis disebabkan oleh dua hal, yaitu rugi-rugi tembaga (*copper losses*) dan rugi-rugi inti besi (*core losses*). Rugi-rugi teknis pada trafo menyebabkan efisiensi penyedia tenaga listrik menjadi rendah.

Oleh karena itu, penulis akan menganalisis rugi-rugi teknis transformator dengan melakukan perhitungan analisis susut daya dan energi (*losses*) transformator di GI Sutami, yang dilakukan pada bulan Juli 2019, dikarenakan terdapat *losses* energi yang tinggi pada bulan tersebut.

Penulis juga akan menganalisis aliran daya pada transformator di GI Sutami menggunakan Microsoft excel untuk dapat mengetahui besarnya susut daya (*losses*) setiap hari dalam satu bulan pada transformator.

A. Transformator Daya

Dalam IEC 60076-1 Transformator daya didefinisikan sebagai bagian statis aparatur dengan dua atau lebih gulungan dengan induksi elektromagnetik, mengubah sistem bolak-balik tegangan dan arus ke sistem lain yang tegangan dan arus biasanya memiliki nilai yang berbeda dan pada frekuensi yang sama untuk tujuan transmisi tenaga listrik [11]. Transformator memiliki konstruksi dan simbol seperti pada gambar berikut ini.



Gbr. 1 Konstruksi transformator

Keterangan dari gambar 1:

N_P : jumlah lilitan primer

N_S : jumlah lilitan sekunder

V_P : tegangan primer

V_S : tegangan sekunder

Berdasarkan IECV (*International Electrotechnical Vocabulary*) 441-14-20 disebutkan bahwa *circuit breaker* (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar / *switching* mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi short circuit / hubung singkat [2].

Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatan lain.

B. Bagian-bagian Transformator

1) Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi ini terbuat dari lempengan lempengan besi tipis terisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus eddy.



Gbr.2 Inti Besi Transformator

2) Kumparan Transformator

Kumparan trafo adalah beberapa lilitan kawat berisolasi akan membentuk suatu kumparan. Kumparan itu diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain lain.



Gbr.3 Kumparan Transformator

Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan kumparan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak balik maka pada kumparan tersebut timbul fluksi. Fluksi ini akan menginduksikan tegangan, dan bila pada rangkaian sekunder ditutup maka akan menghasilkan arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan arus.

C. Rugi-rugi pada Transformator

Dasar ketika energi listrik yang masuk ke transformator tidak akan sama dengan energi

listrik yang akan dikeluarkan dari transformator. Hal tersebut disebabkan adanya rugi - rugi yaitu adanya arus yang hilang saat melewati trafo tersebut. Rugi-rugi tersebut dapat dibagi menjadi dua yaitu : rugi inti (P_{core}) dan rugi tembaga (P_{copper}).

Ketika kondisi beban nol atau tidak berbeban, rugi - rugi yang didapat hanya rugi inti saja. perubahan beban tidak mempengaruhi rugi inti. Besarnya rugi inti ketika dari beban nol sampai beban penuh nilainya akan terus sama.

Secara umum total rugi-rugi pada transformator dirumuskan pada persamaan berikut :

$$P_{losses} = P_{copper} + P_{core} \quad (1)$$

Dimana :

P_{losses} = Total Rugi-rugi transformator (W)

P_{copper} = Rugi-rugi kumparan transformator (W)

P_{core} = Rugi-rugi Inti besi transformator (W)

D. Rugi-rugi Tembaga (copper losses)

Rugi-rugi yang disebabkan oleh arus mengalir pada kawat tembaga. Rugi-rugi tembaga akan berbanding lurus dengan besarnya beban sehingga meningkatnya arus beban akan meningkatkan rugi-rugi tembaga juga. Rugi – rugi ini dapat ditulis sebagai berikut [3]:

$$P_{cu} = I_p^2 \cdot R_1 + I_s^2 \cdot R_2 \quad (2)$$

Dimana :

P_{cu} = rugi – rugi tembaga (watt)

I_p = arus primer (A)

I_s = arus sekunder (A)

R_1 = resistansi kumparan primer (Ω)

R_2 = resistansi kumparan sekunder (Ω)

Perumusan ini diatas diperuntukkan hanya sebagai pendekatan. Disebabkan arus beban yang terus mengalami perubahan, rugi tembaga juga tidak konstan karena tergantung pada nilai beban.

E. Rugi-rugi Inti Besi (*core losses*)

Rugi inti pada transformator dibagi atas dua bagian, yaitu rugi hysteresis dan arus eddy yang dapat diukur melalui percobaan/test tanpa beban, dimana pada saat tanpa beban rugi hysteresis yaitu rugi yang disebabkan oleh fluks bolak-balik pada inti besi, sedangkan rugi arus eddy [4], yaitu rugi yang disebabkan oleh arus pusar pada inti besi. Jadi rugi inti dapat ditulis dalam persamaan:

$$P_{fe} = P_h + P_e \quad (3)$$

Dimana :

P_{fe} = rugi inti (watt)

P_h = rugi hysteresis (watt)

P_e = rugi arus eddy (watt)

1) Rugi *Hysteresis* (P_h)

Rugi *hysteresis* adalah rugi yang diakibatkan oleh fluks (Φ) bolak-balik di inti besi. Pada besi yang mendapat fluks bolak-balik, Rugi *hysteresis* per cycle berbanding dengan luas lup (jerat) *hysteresis* [5]. Rugi *hysteresis* dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

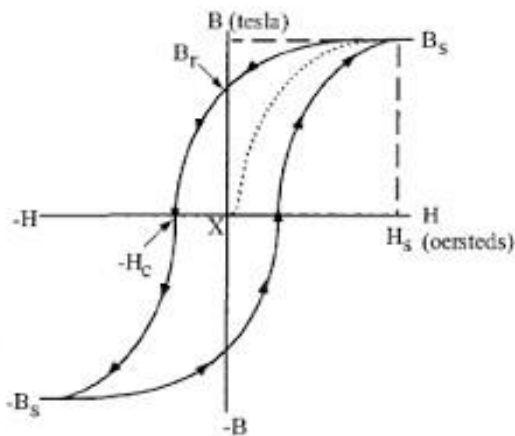
$$P_h = K_h f B_m^2 \quad (4)$$

Dimana:

K_h = konstanta Hysteresis

f = frekuensi (Hz)

B = kerapatan fluks maksimum (Tesla)



Gbr.4 Kurva *Hysteresis* secara umum

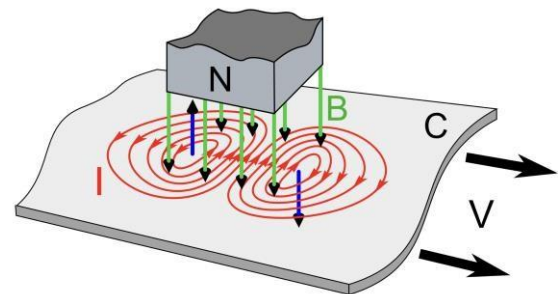
2) Rugi-rugi Arus Eddy

Rugi-rugi ini disebabkan pemanasan pada ketebalan inti besi oleh arus yang terinduksi pada inti dan perbedaan tegangan antara sisinya akan membangkitkan arus yang berputar – putar pada sisi yang luas/tebal. Adanya arus eddy berdasar pada fluks magnetik yang mana perbedaan tegangan antara sisinya yang memberikan perubahan fluks tersebut. Pada dasarnya induksi tegangan di besi ini sama seperti pada transformator (dapat dianggap bahwa tiap lempeng besi adalah sekunder yang terhubung singkat), maka emf induksi di inti akan berbanding dengan fluks ($e = 4,44 f n \Phi$). Impedansi dari inti yang di aliri arus dapat dianggap konstan untuk laminasi yang tipis dan tidak tergantung pada frekuensi, untuk frekuensi rendah atau frekuensi daya listrik [6], sehingga dapat dituliskan persamaan:

$$P_e = K_e f^2 B_m^2 \quad (5)$$

Dimana

K_e adalah konstanta arus eddy



Gbr.5 Ilustrasi timbulnya arus eddy

Sehingga dari 2 bagian rugi inti didapat persamaan seperti berikut: [10]

$$P_{fe} = P_h + P_e = K_h f B_m^2 + K_e f^2 B_m^2 \quad (6)$$

II. METODE PENELITIAN

Dalam menyelesaikan penelitian ini penulis membuat rancangan penelitian dengan 4 tahapan sebagai berikut:

A. Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis mempelajari dan mengumpulkan literatur mengenai analisis analisis *losses* transformator. Literatur tersebut dari beberapa sumber dan referensi ilmiah, seperti buku materi analisa sistem tenaga listrik dan jurnal ilmiah, serta artikel dari *website* yang dapat dipertanggung jawabkan informasinya.

B. Studi Bimbingan

Pada tahap ini, penulis melakukan diskusi secara berkala dalam menyelesaikan Analisis *losses* transformator, sehingga penulis dapat memperoleh pengetahuan lebih dan dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

C. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada tahap ini, penulis melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan, seti Single Diagram Gardu Induk Sutami, Spesifikasi peralatan penghantar sampa spesifikasi pada trafo. Kemudian data ini akan di analisis menggunakan Microsoft excel .

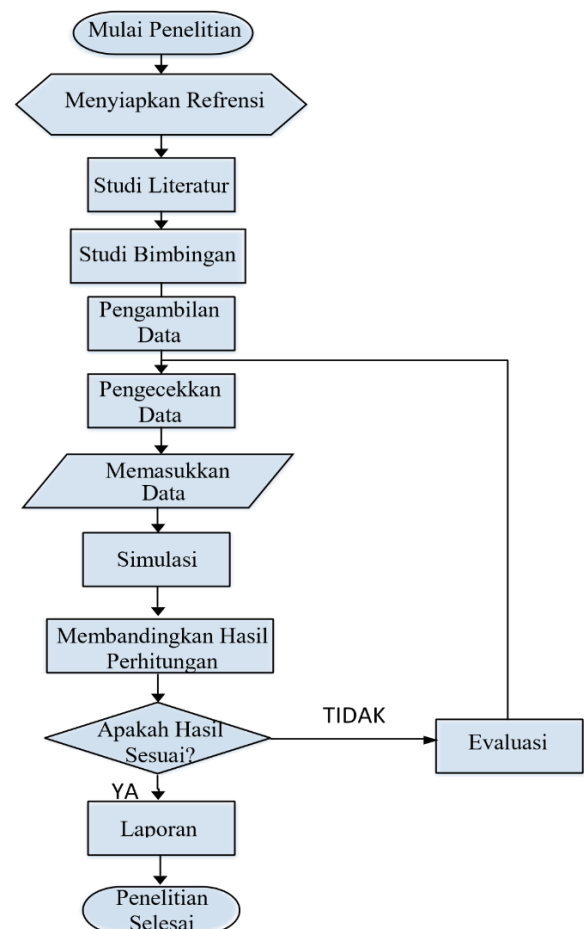
D. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini, penulis menuliskan mengenai rencana penelitian dalam bentuk laporan proposal dan hasil dari penelitian dalam bentuk laporan akhir. Laporan ini dapat digunakan sebagai bentuk tanggung jawab penulis terhadap tugas akhir yang telah dilakukan dan digunakan untuk seminar usul dan seminar akhir.

Adapun tahapan dalam pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Tahapan dalam pelaksanaan penelitian

No.	Keterangan
1.	Menyiapkan data yang dibutuhkan yaitu komponen pada Transmisi dan Transformator 150 kV hingga beban yang terpasang
2.	Menghitung besar <i>losses</i> energi dan <i>losses</i> daya pada trafo1 dan trafo 2
3.	Membandingkan hasil perhitungan dengan pemeliharaan pada GI Sutami
4.	Menghitung <i>copper losses</i> dan <i>core losses</i> pada trafo 1
5.	Menghitung <i>copper losses</i> dan <i>core losses</i> pada trafo 2
6.	Menentukan urutan <i>losses</i> tertinggi pada setiap komponen
7.	Menentukan persentase kenaikan <i>losses</i> terhadap perubahan arus beban puncak



Gbr.6 Flowchart Peneletian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis losses transformator

Analisis aliran daya sangat dibutuhkan pada suatu jaringan tenaga listrik transmisi maupun distribusi. Tujuan dari analisis aliran daya antara lain untuk memperoleh nilai rugi-rugi daya pada transmisi serta nilai magnitude tegangan dan sudut fasa tegangan di setiap bus, sehingga dalam kondisi tunak dapat diketahui kondisi tegangan masih dalam toleransi atau tidak.

Selain itu, fungsi lain menghitung aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik adalah untuk mengatur penjadwalan ulang schedule pembangkitan yang lebih efisien berdasarkan karakteristik beban. Perhitungan *losses* trafo dilakukan setiap hari dengan melihat selisih daya pada trafo dengan daya masuk pada penyulang.

Serta menganalisis kenaikan *losses* setiap harinya dan menentukan kapan *losses* tertinggi terjadi dengan menampilkan persentase kenaikannya.

B. Data hasil losses trafo dalam satu bulan

Dalam suatu pemeliharaan Transformator terdapat beberapa hal yang harus diukur/diuji, salah satunya pengukuran kwh energi transformator. Adapun data hasil *losses* transformator dibawah ini :

1) Data hasil losses trafo 1

Tabel 2. Data hasil *losses* trafo 1

Penyulang	Energi (MWH)	
	EXPORT	IMPORT
INCOMING TRAFO 1	-	513.892.739,41
Baja	14.667.501,39	
Tembaga	116.686.880,63	
Emas	110.759.247,90	
Perunggu	40.153.204,58	
Nikel	12.388.533,12	
Titanium	93.625.003,11	
Kuningan	51.378.203,48	
TOTAL	439.658.574,21	513.892.739,41
TOTAL INCOMING TD		74.234.165,20

$$\begin{aligned}
 \text{Losses energy trafo 1} &= \text{Incoming Trafo 1} - \text{Total kwh penyulang} \\
 &= 513.892.739,41 - 439.658.574,21 \\
 &= \mathbf{74.234.165,20 \text{ MWH}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Losses daya trafo 1} &= \frac{\text{losses energy trafo 1}}{24} \\
 &= \frac{74.234.165,20}{24} \\
 &= \mathbf{3.093.090 \text{ MW}}
 \end{aligned}$$

2) Data hasil losses trafo 2

Tabel 2. Data hasil *losses* trafo 2

Penyulang	Energi (MWH)	
	EXPORT	IMPORT
INCOMING TRAFO 2	277.132.634,00	543.752.922,00
Besi	103.483.595,39	
Steanlis	139.202.040,35	
Suasa	325.660.533,25	
Perak	362.156.511,00	
Timah	84.649.088,02	
Platina	394.414.266,00	
Kabel 1	649.319,08	373.728.814,40
Kabel 2	1.299.382,47	429.603.706,64
PSGI	532.908,96	
	1.689.180.278,52	1.347.085.443,04
TOTAL INCOMING TD		342.094.835,48

$$\begin{aligned}
 \text{Losses Energy trafo 2} &= \text{Incoming Trafo 2} - \text{Total kwh penyulang} \\
 &= 1.347.085.443,04 - 1.689.180.278,52 \\
 &= \mathbf{342.094.835,48 \text{ MWH}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Losses daya trafo 2} &= \frac{\text{losses energy trafo 2}}{24} \\
 &= \frac{342.094.835,48}{24} \\
 &= \mathbf{14.253.952 \text{ MW}}
 \end{aligned}$$

C. Menentukan *copper losses* dan *core losses* bulanan

- 1) Menentukan *copper losses* dan *core losses* pada trafo 1

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3 \times 1500000 \times 0,8}}$$

$$= \frac{74.234.165}{\sqrt{3 \times 1500000 \times 0,8}}$$

$$= 357 \text{ A}$$

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3 \times 200000 \times 0,8}}$$

$$= \frac{74.234.165}{\sqrt{3 \times 200000 \times 0,8}}$$

$$= 2679 \text{ A}$$

- Menentukan besar *copper losses*

$$P_{cu} = I_p^2 \cdot R_1 + I_s^2 \cdot R_2$$

$$= (357)^2 \cdot 1,197 + (2679)^2 \cdot 1,426$$

$$= 152.556 + 10.234.460$$

$$= \mathbf{10.384.821 \text{ MWH}}$$

- Menentukan besar *Core losses*

$$P_{loss} = P_{copper} + P_{core}$$

$$P_{core} = P_{loss} - P_{copper}$$

$$P_{core} = \mathbf{74.234.165 - 10.384.821}$$

$$= \mathbf{63.849.345 \text{ MWH}}$$

- 2) Menentukan *copper losses* dan *core losses* pada trafo 2

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3 \times 1500000 \times 0,8}}$$

$$= \frac{342.094.835}{\sqrt{3 \times 1500000 \times 0,8}}$$

$$= 1.646 \text{ A}$$

$$I_s = \frac{P}{\sqrt{3 \times 200000 \times 0,8}}$$

$$= \frac{342.094.835}{\sqrt{3 \times 200000 \times 0,8}}$$

$$= 12.344 \text{ A}$$

- Menentukan besar *Copper losses*

$$P_{cu} = I_p^2 \cdot R_1 + I_s^2 \cdot R_2$$

$$= (1.646)^2 \cdot 1,197 + (12.344)^2 \cdot 1,684$$

$$= 3.243.051 + 256.598.381$$

$$= \mathbf{259.736.382 \text{ MWH}}$$

- Menentukan besar *Core losses*

$$P_{loss} = P_{copper} + P_{core}$$

$$P_{core} = P_{loss} - P_{copper}$$

$$P_{core} = \mathbf{342.094.835 - 259.736.382}$$

$$= \mathbf{82.358.453 \text{ MWH}}$$

Berdasarkan data hasil perhitungan diatas, data hasil *copper losses* dan *core losses* pada trafo 1 dan trafo 2 dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. Hasil Total *losses* energi pada trafo 1 dan trafo 2

LOSSES ENERGY				
LOSSES	Titik Ukur		%LOSS	
	TRAFO1 (MWH)	TRAFO2 (MWH)	TRAFO1 (%)	TRAFO2 (%)
COPPER LOSS	10.384.821	259.736.382	2,36	19,28
CORE LOSS	63.849.345	82.358.454	14,52	6,11
TOTAL LOSS	74.234.165	342.094.836	16,88	25,39

Berdasarkan data hasil tabel 3 total *copper losses* dan *core losses* pada trafo 1 dan 2 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dalam besar *copper losses* dan *core losses*. Pada trafo 2 memiliki *copper losses* yang lebih besar dari pada trafo 1, yaitu sebesar 19,28%.

Hal ini disebabkan Karena selisih daya kwh trafo 2 lebih besar di banding trafo 1 yang menyebabkan kuadrat arus lebih besar.

Hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan sesuai dengan teori [10], dimana besar daya berbanding lurus terhadap kuadrat arus dan resistansinya.

D. Menentukan copper losses dan core losses harian dalam satu bulan

- 1) Menentukan *copper losses* dan *core losses* pada trafo 1

Tabel 4. Data hasil losses energi pada trafo 1 dalam satu bulan

DATE	LOSSES TRAFO	COPPER LOSS (KWH)	CORE LOSS (KWH)
01-Jul	109.088.688	22.425.946,23	86.662.741,62
02-Jul	108.688.312	22.261.633,66	86.426.678,74
03-Jul	108.090.020	22.017.222,51	86.072.797,05
04-Jul	108.087.585	22.016.230,66	86.071.354,22
05-Jul	107.087.490	21.610.699,31	85.476.790,86
06-Jul	106.087.176	21.208.849,81	84.878.326,00
07-Jul	106.204.485	21.255.780,33	84.948.704,41
08-Jul	109.086.293	22.424.961,42	86.661.331,15
09-Jul	109.086.077	22.424.872,69	86.661.204,06
10-Jul	109.085.670	22.424.705,39	86.660.964,45
11-Jul	109.091.868	22.427.253,79	86.664.614,26
12-Jul	109.106.256	22.433.169,98	86.673.086,05
13-Jul	106.084.995	21.207.977,96	84.877.017,32
14-Jul	106.084.487	21.207.774,79	84.876.712,34
15-Jul	109.112.658	22.435.802,48	86.676.855,10
16-Jul	109.083.672	22.423.883,88	86.659.787,81
17-Jul	109.083.335	22.423.745,30	86.659.589,32
18-Jul	109.083.185	22.423.683,87	86.659.501,33
19-Jul	109.055.712	22.412.390,20	86.643.321,72
20-Jul	108.082.558	22.014.183,02	86.068.375,35

21-Jul	108.082.377	22.014.108,98	86.068.267,63
22-Jul	110.081.909	22.836.168,68	87.245.739,94
23-Jul	110.116.890	22.850.684,46	87.266.205,31
24-Jul	110.080.940	22.835.766,97	87.245.173,43
25-Jul	110.080.896	22.835.748,35	87.245.147,16
26-Jul	110.080.633	22.835.639,29	87.244.993,36
27-Jul	108.083.432	22.014.538,82	86.068.892,98
28-Jul	108.079.964	22.013.126,39	86.066.838,08
29-Jul	110.007.550	22.805.327,95	87.202.221,59
30-Jul	110.079.255	22.835.067,68	87.244.187,22
31-Jul	110.079.047	22.834.981,63	87.244.065,87

- 2) Menentukan *copper losses* dan *core losses* pada trafo 2

Tabel 5. Data hasil losses energi pada trafo 2 dalam satu bulan

DATE	LOSSES TRAFO (KW)	COPPER LOSS (KW)	CORE LOSS (KW)
01-Jul	16.010.547	568.921	15.441.626
02-Jul	16.021.906	569.729	15.452.177
03-Jul	16.033.957	570.586	15.463.371
04-Jul	16.053.855	572.003	15.481.852
05-Jul	16.054.580	572.055	15.482.525
06-Jul	15.859.907	558.266	15.301.641
07-Jul	15.875.684	559.377	15.316.307
08-Jul	16.048.988	571.656	15.477.332
09-Jul	16.225.792	584.321	15.641.471
10-Jul	16.236.163	585.068	15.651.095

11-Jul	16.246.884	585.841	15.661.043
12-Jul	16.092.030	574.727	15.517.303
13-Jul	15.894.545	560.707	15.333.838
14-Jul	15.945.947	564.339	15.381.608
15-Jul	16.205.925	582.891	15.623.034
16-Jul	16.177.452	580.845	15.596.608
17-Jul	16.188.260	581.621	15.606.639
18-Jul	16.115.993	576.440	15.539.553
19-Jul	16.125.981	577.154	15.548.827
20-Jul	15.973.960	566.324	15.407.636
21-Jul	15.942.138	564.070	15.378.068
22-Jul	16.127.350	577.252	15.550.097
23-Jul	16.106.721	575.777	15.530.944
24-Jul	16.139.228	578.103	15.561.125
25-Jul	16.148.731	578.784	15.569.947
26-Jul	16.156.246	579.323	15.576.923
27-Jul	16.038.794	570.930	15.467.864
28-Jul	16.012.781	569.080	15.443.701
29-Jul	16.168.191	580.180	15.588.011
30-Jul	16.196.487	582.212	15.614.275
31-Jul	16.180.264	581.047	15.599.217

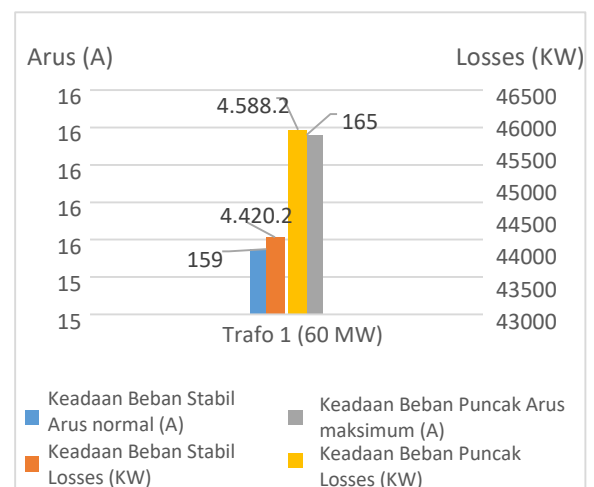
Berdasarkan Tabel.4 Data hasil *losses* harian pada Trafo 1 bulan Juli 2019, menunjukkan bahwa besar hasil *copper losses* dan *core losses* relative konstan setiap harinya, dan pada Trafo 1 besar *Core losses* lebih tinggi disbanding *copper losses*, disebabkan selisih energi pada trafo 1 lebih kecil, menyebabkan I^2R pada Trafo semakin lebih kecil. Kemudian

losses tertinggi jatuh pada tanggal 23 Juli 2019 sebesar 110.116.890 kwh. *Copper losses* tertinggi jatuh pada tanggal 23 Juli 2019 sebesar 22.850.684 kwh, dan *Core losses* tertinggi jatuh pada tanggal 1 juli 2019 sebesar 86.662.741 kwh.

Berdasarkan Tabel.5 Data hasil *losses* harian pada Trafo 2 bulan Juli 2019, menunjukkan bahwa besar hasil *copper losses* dan *core losses* relative konstan, dan besar *copper losses* lebih besar disbanding *core losses*, ini disebabkan pada trafo 2 memiliki selisih kwh yang besar, sehingga menyebabkan I^2R pada kumparan trafo menjadi semakin besar. Kemudian *losses* tertinggi jatuh pada tanggal 11 Juli 2019 sebesar 389.925.224 kwh, *Copper losses* tertinggi jatuh pada tanggal 11 Juli 2019 sebesar 337.444.543 kwh, dan *Core losses* tertinggi jatuh pada tanggal 13 juli 2019 sebesar 58.501.862 kwh.

E. Data hasil kenaikan *losses* terhadap perubahan arus normal ke arus maksimum

- 1) Perbandingan kenaikan *losses* terhadap perubahan arus beban normal ke arus beban puncak pada Trafo 1

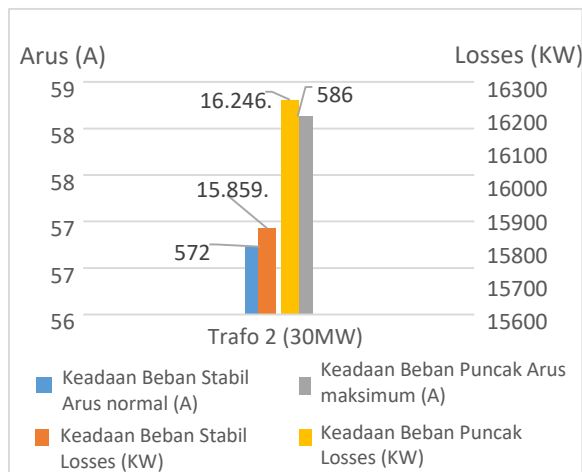


Gbr.7 Data hasil besar *losses* terhadap perubahan arus beban normal ke arus beban puncak pada Trafo 1

Berdasarkan gambar 7 menunjukkan bahwa perubahan arus pada saat beban normal ke arus pada saat beban puncak di Trafo 1. Perubahan arus tersebut mempengaruhi besarnya rugi-rugi daya (*losses*) pada

transformator. Pada saat arus normal yaitu sebesar 159,5 A memiliki *losses* sebesar 4.420.208 KW, sedangkan pada saat arus beban puncak yaitu sebesar 165,6 A maka *losses* naik menjadi 4.588.204 KW. Dari data tersebut menunjukkan bahwa perubahan arus saat beban normal, dengan arus saat beban puncak pada Trafo 1 akan meningkatkan *losses* sebesar 3,66%.

- 2) Perbandingan kenaikan *losses* terhadap perubahan arus beban normal ke arus beban puncak pada Trafo 2



Gbr.8 Data hasil besar *losses* terhadap perubahan arus beban normal ke arus beban puncak pada Trafo 2

Berdasarkan gambar 8 menunjukkan bahwa perubahan arus pada saat beban normal ke arus pada saat beban puncak di Trafo 2. Perubahan arus tersebut mempengaruhi besarnya rugi-rugi daya (*losses*) pada transformator.

Pada saat arus normal yaitu sebesar 572,3 A memiliki *losses* sebesar 15.859.907 KW, sedangkan pada saat arus beban puncak yaitu sebesar 586,3 A maka *losses* naik menjadi 16.246.884 KW. Dari data tersebut menunjukkan bahwa perubahan arus saat beban normal, dengan arus saat beban puncak pada Trafo 2 akan meningkatkan *losses* sebesar 2,38%.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil pemeliharaan ini yaitu :

1. Pada trafo 2 *copper losses* energi lebih besar dibandingkan trafo 1. Hal ini disebabkan karena pada trafo 2 memiliki *losses* energi yang lebih besar daripada trafo 1, yang menyebabkan (I^2R) pada trafo 2 pun menjadi lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan sesuai dengan hipotesis sebelumnya.
2. *Losses* daya tertinggi pada Trafo 1 jatuh pada tanggal 23 Juli 2019, sebesar 4.588.204 kw. *Copper losses* tertinggi, yaitu sebesar 39.671 kw. dan *Core losses*, sebesar 4.548.832 kw.
3. *Losses* daya tertinggi pada Trafo 2 jatuh pada tanggal 11 Juli 2019, sebesar 16.246.884 kw. lalu *Copper losses* tertinggi, sebesar 585.841 kw dan *Core losses* tertinggi, sebesar 15.661.043 kw.
4. Besar perubahan kenaikan arus dari arus beban normal ke arus beban puncak pada Trafo 1, akan menyebabkan *losses* naik sebesar 3,66%. Sedangkan Besar perubahan kenaikan arus dari arus beban normal ke arus beban puncak pada Trafo 2, akan menyebabkan *losses* naik sebesar 2,38%.

B. Saran

Adapun saran pada penelitian ini yaitu :

1. Pada trafo 2 sebaiknya kapasitas daya trafo ditambah, karena pada trafo 2 memiliki beban yang lebih besar, sehingga jika terjadi *overload*, tidak terjadi *losses* yang tinggi pada trafo 2.

REFERENSI

- [1] Anthony J. Pansini, E. P. (1999). *ELECTRICAL TRANSFORMERS AND POWER EQUIPMENT* (3rd ed.). Prentice-Hall International (UK) Limited, London: THE FAIRMONT PRESS, INC.
- [2] Arifin, Zainal. 2007. Panduan Pengendalian Susut. Bandung : PT.PLN (Persero) Distribusi Jawa Barat dan Banten.
- [3] Harlow, J. H. (2012). *Electric Power Transformer Engineering* (3rd ed.). Boca Raton London New York: Taylor & Francis Group, LLC.
- [4] Ir. Johanes Ohoiwutun, M. (2016). ANALISIS RUGI DAYA TRANSFORMATOR 100 kVA GARDU RUFEL PANTAI DI PT.PLN (PERSERO) WILAYAH PAPUA DAN PAPUA BARAT AREA SORONG. 8.
- [5] J.J. Grainger and W.D. Stevenson, 1994, *Power System Analysis*, McGraw-Hill, Inc New York.
- [6] Kundur, P., 1993, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, Inc., Toronto, U.S.A
- [7] Martin J. Heathcote, C. F. (2007). *The J & P Transformer Book* (13rd ed.). New York.
- [8] PLN. 2010. Kriteria Desain Enjinereng Kontruksi Jaringan Distribusi Sistem Tenaga Listrik. Jakarta : PT. PLN (Persero).
- [9] Sirait, Bonar. 2004. Diktat Kuliah Transmisi Daya Listrik Pontianak : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [10] Siregar, N. Y. (2018). ANALISA RUGI-RUGI DAYA PADA SALURAN TRANSMISI TEGANGAN 150 kV DI PT. PLN (PERSERO) SISTEM KHATULISTIWA. 19.
- [11] SPLN No. 1. 1995. Tegangan-Tegangan Standa. Jakarta : Perusahaan Umum Listrik Negara.